

В. И. МИЛЫХ, проф., докт. техн. наук,
Л.В. ШИЛКОВА, Д.В. ПОТОЦКИЙ, НТУ “ХПИ”

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ МЕТОДАМИ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ И КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Классической основой электромагнитных расчетов электротехнических устройств (ЭТУ) является метод магнитной цепи (ММЦ) [1]. С развитием компьютерной техники его альтернативой все чаще становятся численно-полевые методы [2] (конечных разностей - МКР, конечных элементов). Хотя они и сложнее, но дают более точные результаты, так как сопряжены с гораздо меньшими допущениями. Целью данной работы является сравнительный анализ расчета магнитного поля ММЦ и МКР, что позволит в дальнейшем делать осознанный выбор между ними при решении конкретных задач.

В качестве объекта сравнительных расчетов выбрана достаточно простая электромагнитная система (рисунок), состоящая из шихтованного стального сердечника (Ст.2) и намотанной на него катушки, имеющей $N = 800$ витков и питаемой постоянным током. Габариты сердечника: $125 \times 100 \times 25$ мм, зазоры по 1,5 мм, коэффициент заполнения $K_{Fe} = 0,93$. Принята сила тока $I = 5$ А, обеспечивающим насыщение сердечника среднего уровня.

При малых зазорах в явно выраженном магнитопроводе можно априори предсказать пространственную структуру магнитного поля. Это и позволяет

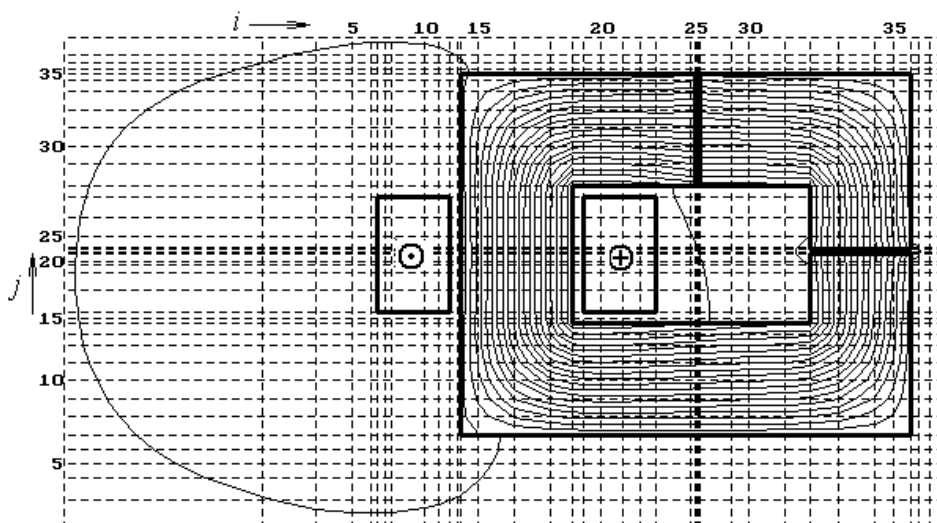


Рис. Магнитная система с картиной силовых линий магнитного поля

использовать ММЦ и соответствующий II закон Кирхгофа [1]:

$$\sum_{k=1}^n H_k \cdot l_k = N \cdot I ,$$

где n – число однородных участков, на которые разбивается магнитопровод; k, l – номер и длина участка; H – напряженность магнитного поля.

Основа МКР – дискретизация области расчета сеточной структурой (рисунки) и соответствующий пятиточечный конечноразностный оператор [2]:

$$A_{j,i} = \frac{T_{j,i} + v_{y,j,i} \cdot A_{j,i+1} + v_{x,j,i} \cdot A_{j+1,i} + v_{y,j,i-1} \cdot A_{j,i-1} + v_{x,j-1,i} \cdot A_{j-1,i-1}}{v_{y,j,i} + v_{x,j,i} + v_{y,j,i-1} + v_{x,j-1,i}},$$

где T – сеточно-узловой ток; v_y, v_x – коэффициенты – аналоги магнитных сопротивлений в пределах ячеек сетки; A – векторный магнитный потенциал; j, i – номера линий сетки, и, соответственно – номера узлов на их пересечении (на рисунке область расчета дана лишь частично).

Оба метода реализованы на языке программирования Turbo Pascal 7.0, результаты расчета, полученные в соответствии с [1,3], сведены в таблицу, где Φ, Φ_Σ – магнитный потоки основной в магнитопроводе и полный на участке с катушкой; $B_{\delta 1}, B_{\delta 2}, B_\Sigma$ – магнитные индукции в зазорах и на участке, где расположена катушка; ψ – магнитное потокоцепление катушки.

Сравнения показывают погрешность метода магнитной цепи, так как МКР построен на значительно меньших допущениях. В более сложных магнитных системах эта погрешность существенно возрастает и в них ММЦ, в отличие от численно-полевых методов, имеет ограниченное применение.

В итоге можно сделать вывод, что рассмотренный МКР является весьма эффективным инструментом расчета магнитного поля и электромагнитных параметров ЭТУ, а его возможности ограничены только доступностью конкретного уровня дискретизации области расчета сеточной структурой.

Таблица

Результаты расчета

Параметры	Φ , мВб	Φ_Σ , мВб	B_Σ , Тл	$B_{\delta 1}$, Тл	$B_{\delta 2}$, Тл	ψ , мВб
Метод магнитной цепи	0,953	1,15	1,61	1,36	1,23	0,92
Метод конечных разностей	0,972	1,18	1,64	1,45	1,36	0,93

Список литературы: 1. Милих В.И., Шавьолькин О.О. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка/ К.:Каравела, 2007.-688 с. 2. Erdelyi E.A., Fuchs E.F. Nonlinear Magnetic Field Analysis of dc Machines // IEEE Trans.Power Appar.and Syst. 1970.PAS-89,N7,p.1546-1564. 3. Милих В.И., Полякова Н.В. Определение электромагнитных параметров электрических машин на основе численных расчетов магнитных полей // Електротехніка і електромеханіка.-2006.-№2.-С.40-46.